

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-214196

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.CI.

H05H 1/46
 C23C 16/50
 C23F 4/00
 H01L 21/205
 H01L 21/3065
 // H01L 21/31

(21)Application number : 10-017226

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP
 MITSUBISHI ELECTRIC
 ENGINEERING CO LTD

(22)Date of filing : 29.01.1998

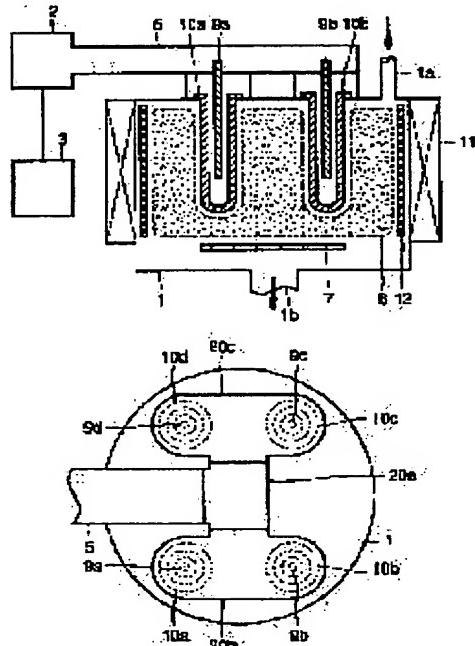
(72)Inventor : DOBASHI YUUSUKE
 HANAZAKI MINORU
 YONEMURA TOSHIO
 TSUDA MUTSUMI
 ONO KOICHI
 OKU KOJI
 NAKAKUMA SHINJI

(54) PLASMA GENERATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma generator which improves uniformity of plasma treatment and can correspond to a large diameter of a substrate.

SOLUTION: Micro waves which are distributed into four rod antennae 9a, 9b, 9c, 9d through branched parts 20a, 20b, 20c of a T branch from a waveguide 5 and are radiated are introduced into a vacuum vessel 1 through four dielectric tubes 10a, 10b, 10c, 10d. In the vacuum vessel 1, a multicusp magnetic field 13 and an electron cyclotron resonance region 12 are provided by a permanent magnet 11 arranged in the surroundings to generate plasma 8 having high uniformity in a region in which plasma treatment is applied to a substrate due to mutual action of vibration electric field of micro waves and magnetic field.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

Plasma generating apparatus with multiple microwave introducing means

Patent number: US6109208

Also published as:

Publication date: 2000-08-29

DE19839612 (A)

Inventor: TSUCHIHASHI MASAAKI (JP); OKU KOUJI (JP); ONO KOUICHI (JP); TUDA MUTUMI (JP); HANAZAKI MINORU (JP); KOMEMURA TOSHIO (JP); NAKAGUMA SHINJI (JP)

Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC ENG (JP); MITSUBISHI ELECTRIC CORP (JP)

Classification:

- **International:** C23C16/511; C23C14/00; C23C16/00; C23F1/02

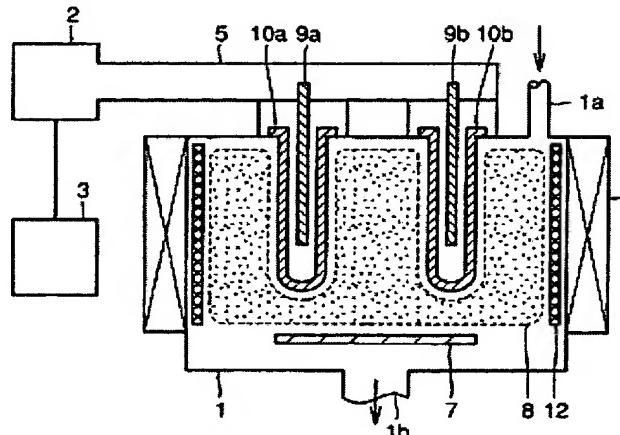
- **european:** H01J37/32H3B

Application number: US19980122061 19980727

Priority number(s): JP19980017226 19980129

Abstract of US6109208

A plasma generating apparatus capable of improving the uniformity of a plasma processing and coping with a larger diameter of a substrate is obtained. Microwaves are distributed and emitted from a waveguide through the branching portions of a T branch to four rod antennas. The microwaves are introduced through four dielectric tubes into a vacuum vessel. In the vacuum vessel, a multi-cusp magnetic field and an electron cyclotron resonance region are caused by permanent magnets located around the vessel and, by an interaction between a vibrational electric field of the microwaves and a magnetic field, highly uniform plasma is generated in a region where a substrate or the like is subjected to a plasma processing.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(51)Int.Cl.⁶
 H 05 H 1/46
 C 23 C 16/50
 C 23 F 4/00
 H 01 L 21/205
 21/3065

識別記号

F I
 H 05 H 1/46
 C 23 C 16/50
 C 23 F 4/00
 H 01 L 21/205
 21/31

B
 A
 C

審査請求 未請求 請求項の数11 OL (全 13 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-17226

(22)出願日 平成10年(1998)1月29日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(71)出願人 591036457

三菱電機エンジニアリング株式会社
東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(72)発明者 土橋 祐亮

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 花崎 稔

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

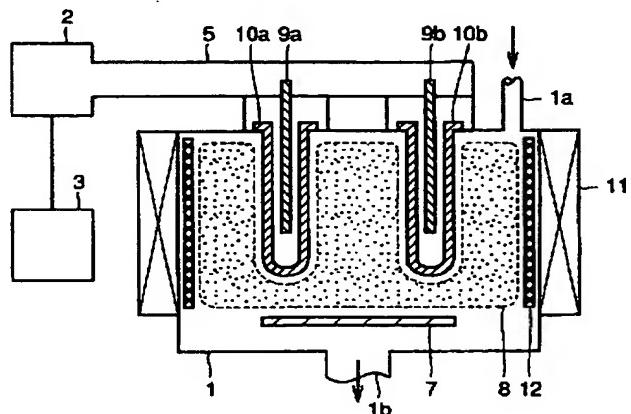
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ発生装置

(57)【要約】

【課題】 プラズマ処理の均一性を向上し、基板の大口径化にも対応できるプラズマ発生装置を提供する。

【解決手段】 導波管5からT分岐の分岐部20a, 20b, 20cを経て4本のロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dに分配して放射されたマイクロ波が、4本の誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを介して真空容器1内に導入される。真空容器1内には、周囲に設置された永久磁石11によりマルチカスプ磁界13と電子サイクロトロン共鳴領域12が存在し、マイクロ波の振動電界と磁界との相互作用により、基板等にプラズマ処理を施す領域において均一性の高いプラズマ8が発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マイクロ波を発生させるマイクロ波発生手段と、

前記マイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を導波するマイクロ波伝達手段と、

前記マイクロ波伝達手段に接続され、放電ガスを供給する手段および真空排気手段を有する真空容器と、

前記マイクロ波伝達手段によって導波されたマイクロ波を前記真空容器内に放射するマイクロ波放射手段と、

前記マイクロ波放射手段で放射されたマイクロ波を前記真空容器の内部に導入させるマイクロ波導入手段とを備え、

前記真空容器内のプラズマ処理領域を含む所定の領域にプラズマを発生させる装置であって、

前記マイクロ波放射手段は、前記真空容器の複数の位置に対してマイクロ波を放射する手段を含み、前記マイクロ波導入手段は、前記マイクロ波放射手段から放射されたマイクロ波を、前記真空容器内の前記プラズマ処理領域上の並列な複数の位置に導入する手段を含む、プラズマ発生装置。

【請求項2】 前記マイクロ波導入手段は、複数個並列に配列されて前記真空容器の内部に挿入された、管状または棒状の誘電体部材を含む、請求項1記載のプラズマ発生装置。

【請求項3】 前記マイクロ波放射手段は、一端が前記マイクロ波伝達手段に結合されるとともに、他端が前記誘電体部材の各々に挿入された複数のアンテナを有する、請求項2記載のプラズマ発生装置。

【請求項4】 前記マイクロ波放射手段が、前記誘電体部材の前記一端近傍において開口するスリットを含む、請求項2記載のプラズマ発生装置。

【請求項5】 前記マイクロ波放射手段の前記真空容器内にマイクロ波を放射する部分および前記マイクロ波導入手段を、前記真空容器内において移動させる駆動手段をさらに備えた、請求項1～4のいずれか1項に記載のプラズマ発生装置。

【請求項6】 前記真空容器の内部に磁界を発生させる磁界発生手段をさらに備える、請求項1～5のいずれか1項に記載のプラズマ発生装置。

【請求項7】 前記誘電体材料は、石英、バイレックスガラス、テフロン等の高分子材料、および、セラミックスからなる群より選ばれた1または2以上の材料からなる、請求項1～6のいずれか1項に記載のプラズマ発生装置。

【請求項8】 前記マイクロ波伝達手段は、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配して前記マイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有する、請求項1～7のいずれか1項に記載のプラズマ発生装置。

【請求項9】 前記マイクロ波放射手段は、前記複数の

位置のうち、マイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段を含む、請求項1記載のプラズマ発生装置。

【請求項10】 前記マイクロ波伝達手段は、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配して複数の前記マイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有し、該マイクロ波分配手段が、前記複数のマイクロ波放射手段のうちのマイクロ波が給電されるマイクロ波放射手段を切り換えるスイッチング手段を含む、請求項9記載のプラズマ発生装置。

【請求項11】 前記マイクロ波放射手段は、前記マイクロ波導入手段の一端近傍において開口する複数のスリットと、該複数のスリットを選択的に遮蔽することにより、前記複数のスリットのうちのマイクロ波を放射するスリットを切換えるシャッターとを含む、請求項9記載のプラズマ発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、プラズマ発生装置に関し、特に、発生したプラズマを用いて半導体基板、液晶ガラス基板、有機材料、金属材料等の表面の改質、エッチング、アッシング、クリーニング、薄膜形成等の処理を行なうプラズマ発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、マイクロ波を用いたプラズマ発生装置として、マイクロ波を真空容器内に導入するのに用いられる誘電体の表面とプラズマとの境界に表面波を励起、伝播させ、この表面波の電磁エネルギーによりプラズマを発生させるプラズマ発生装置がある。以下、図2～図24を用いて、従来のプラズマ発生装置について説明する。

【0003】 従来のプラズマ発生装置として主として用いられている表面波プラズマ発生装置は、図21に示すように、真空容器101、マイクロ波発振器102、駆動電源103、導波管105および誘電体窓120を備えている。さらに真空容器101は、この真空容器101内部に、放電ガスを供給するためのガス供給口101aと放電ガスを排気するためのガス排気口101bを有している。また、この真空容器101の内部下側には、種々の処理のための基板107が載置されている。また、この真空容器101内部上側には、スリット106とその真下に誘電体材料からなる誘電体窓120とが設けられている。そして、この誘電体窓120は、導波管105に接続されている。また、この導波管105は、マイクロ波発振器102に接続されている。さらに、マイクロ波発振器102は、駆動電源103に接続されている。

【0004】 上記のように構成される従来の表面波プラズマ発生装置の動作について説明する。まず、排気孔101bに接続されているあらびきポンプおよびターボ分

子ポンプ等の高真空ポンプ（図示せず）で真空容器101内を高真空に排気し、ガス供給口101aを通じてアルゴン、水素、酸素、塩素、四弗化炭素、シラン等の放電ガスを供給する。それにより、真空容器101内がこの放電ガスによって所定の圧力に達する。その後、駆動電源103の駆動によりマイクロ波発振器102がマイクロ波を発振する。このマイクロ波は導波管105に導波される。そして、マイクロ波は導波管105を経てスリット106によってマイクロ波立体回路から放射される。放射されたマイクロ波は、真空容器101の上面に設置された誘電体窓120を通過して真空容器101の内部に導入される。それにより、プラズマ108が真空容器101の内部に発生する。

【0005】 プラズマ108が発生した後、プラズマ108の密度が高くなると、マイクロ波は、プラズマ108内部に進入することができない。そのため、プラズマ108の表面に発生する表面波となって導波される。この表面波は、誘電体窓120とプラズマ108の境界に沿って伝播する。また、マイクロ波は、伝播中のプラズマ108に吸収される。このため、誘電体窓120の表面近傍は、この表面波の振動電界により電子が加速され、高エネルギー状態となる。こうして生成された高密度のプラズマ108は拡散する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来のプラズマ発生装置は、図21に示すように、真空容器101の上側のみに誘電体窓120が設置されているので、誘導体窓120に近い部分と遠い部分とで、マイクロ波の導入に格差が生じる。そのため、プラズマ108が拡散するときに再結合をおこす。それにより、プラズマ108密度の分布は、真空容器101の内部で不均一となる。その結果、基板107の処理が不均一になる。また、基板107の大口径化に伴い、真空容器101を大きくする場合においても、プラズマ108の再結合が起りやすくなり、均一なプラズマ108の分布の維持ができず、基板107の処理が不均一となりやすい。それにより、半導体装置の機能に不具合が生じる可能性がある。そのため、基板107の大口径化ができないという問題がある。

【0007】 このような問題点を解決する手段として、本発明者らは、平成9年9月26日出願の特願平9-262047号において、図22および図23に示すように、誘電体管110が真空容器101内部に挿入された構造のプラズマ発生装置を既に提案した。このプラズマ発生装置によれば、真空容器は円柱形であり、誘電体管110が高さ方向に配置されている。それにより、高さ方向のマイクロ波の導入は均一化される。このマイクロ波と図24に示す磁石111から発生するマルチカスプ磁界113によりプラズマの発生、維持が図られる。その結果、円柱形の真空容器の高さ方向のプラズマ108

の分布については、十分に均一化を図ることが可能である。

【0008】 しかしながら、図22に示す装置は、アンテナ109および誘電体管110が各々1つしか有しないため、マイクロ波のエネルギーが真空容器101の壁付近まで到達しにくい。そのため、真空容器101の壁付近でプラズマ108が消滅しやすい。したがって、円柱形の真空容器101の直径方向のプラズマ108の分布が均一化が十分ではなく、完全に均一性の高いプラズマ108を発生することができない。

【0009】 本発明は、上記のような問題点を解決するために、上記の特願平9-262047号に記載の発明を更に改良し、高さ方向および直径方向ともに均一性の高いプラズマを発生させ、かつ、高密度なプラズマを広い範囲のもとで、安定に供給、維持することを可能とするようなプラズマ発生装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成する本発明の請求項1に記載のプラズマ発生装置は、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生手段と、該マイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を導波するマイクロ波導波手段と、該導波管に接続され、放電ガスを供給する手段および真空排気手段を有する真空容器と、導波管から導波されたマイクロ波を真空容器内に放射するマイクロ波放射手段と、マイクロ波放射手段で放射されたマイクロ波を前記真空容器の内部に導入させるマイクロ波導入手段とを備え、真空容器内のプラズマ処理領域を含む所定の領域にプラズマを発生させる装置であって、マイクロ波放射手段は、真空容器の複数の位置に対してマイクロ波を放射する手段を含み、マイクロ波導入手段は、マイクロ波放射手段から放射されたマイクロ波を、真空容器内の前記プラズマ処理領域上の並列な複数の位置に導入する手段を含む。

【0011】 このように構成することにより、本発明のプラズマ発生装置によれば、マイクロ波放射手段が、真空容器内のプラズマ処理領域に沿う方向に並ぶ複数の位置においてマイクロ波を放射する手段を含むことにより、プラズマ処理領域上の複数の位置に対してマイクロ波が放射され、それらの複数の位置においてプラズマを発生させるため、上記従来の技術の場合のように1か所のみに対してマイクロ波を放射させることに比べて、プラズマ処理領域に沿う方向により均一な密度分布を有するプラズマを発生させることができる。その結果、プラズマ処理領域内でのプラズマ処理の均一性が向上し、プラズマ処理の対象としての基板の大口径化に対応できるプラズマ発生装置を提供することができる。

【0012】 マイクロ波伝達手段としては、主として導波管が用いられるが、マイクロ波パワーの程度によれば、導波管の代わりに、同軸ケーブルやあるいはコルゲ

ート管等のフレキシブルな部材に置換えて、プラズマ発生装置の構成を簡略化することも可能である。

【0013】マイクロ波導入手段としては、たとえば請求項2に記載のように、管状または棒状の誘電体部材を複数個並列に配列するとともに、それらの各々の端部を真空容器の内部に挿入することによって構成することができる。この構成によれば、管状あるいは棒状の誘電体部材を複数個並列に配置して真空容器内に挿入し、マイクロ波発生手段からのマイクロ波パワーを分散して真空容器に導入することになるため、各々の誘電体部材にかかる負荷が低減される。

【0014】マイクロ波放射手段としては、たとえば請求項3に記載のように、一端が前記マイクロ波伝達手段に結合されるとともに、他端が前記誘電体部材の各々に挿入された複数のアンテナが用いられる。このようなアンテナを用いてその端部が真空容器内に奥深く挿入することにより、マイクロ波の放射位置を、所望のプラズマ処理領域の近くに配することができ、そのプラズマ処理領域でのプラズマ密度を高め易いという利点がある。マイクロ波放射手段として、アンテナの代わりに、請求項4に記載のように複数のスリットを設ける場合には、このような利点は有しないが、一つのスリットを有する従来のプラズマ発生装置に比べて、プラズマ処理領域におけるプラズマ密度分布の均一性を向上させる点においては、同様の利点を有している。

【0015】上記構成のプラズマ発生装置の好ましい実施例においては、請求項5に記載のように、マイクロ波放射手段の真空容器内にマイクロ波を放射する部分を真空容器内において移動させる駆動手段をさらに備える。このような構成によれば、単一の部材で構成されたアンテナなどのマイクロ波放射手段を用いて、所望のプラズマ処理領域に沿う方向に並ぶ複数の位置においてマイクロ波を放射させることができ、より簡単な構成のマイクロ波放射手段によって、プラズマ処理領域におけるプラズマ密度分布の均一性の向上を図ることができる。

【0016】上記構成のプラズマ発生装置の他の好ましい実施例においては、請求項6に記載のように、真空容器の内部に磁界を発生させる磁界発生手段をさらに備える。この磁界発生手段により、真空容器内部の無い壁面近傍壁でマルチカスプ磁界が発生し、磁気ミラー効果により、プラズマはサイクロトロン現象を起こす。そのため、プラズマは真空容器の内壁に衝突することなく存在する。それにより、発生したプラズマは、その状態を維持しやすくなる。そのため、所望のプラズマ処理領域におけるプラズマ処理の均一性がさらに向上し、プラズマ処理の対象としての基板の大口径化への対応の可能性も拡大する。

【0017】マイクロ波導入手段を構成する誘電体材料としては、典型的には石英がもちいられるが、その他の誘電体材料を適用することも可能であり、たとえば請求

項7に記載のように、石英、バイレックスガラス、テフロン等の高分子材料、および、セラミックスからなる群より選ばれた1または2以上の材料からなる誘電体材料を適用することができる。

【0018】本発明のプラズマ発生装置においては、請求項8に記載のように、マイクロ波伝達手段が、マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配してマイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有することにより、プラズマ処理領域上の並列な複数の位置へのマイクロ波の導入を実現することができる。

【0019】本発明のプラズマ発生装置の他の好ましい実施例においては、請求項9に記載のように、マイクロ波放射手段は、前記複数の位置のうち、マイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段を含む。このような切換え手段を含むことにより、マイクロ波放射手段がマイクロ波を放射する複数の位置に対して時間分割して順次マイクロ波を放射することを可能にする。このようにマイクロ波を放射することにより、分割されたある時間においては、1つの電源により発生する限られた電力のマイクロ波を1つの位置に集中的に放射することになり、その結果、その位置に発生するプラズマ密度を高くすることができる。この場合、分割された各時間ごとにみれば、各位置において新たに発生するプラズマ密度に差が生じるが、一旦発生したプラズマはマイクロ波の放射が途切れた間においても直ぐには減衰することなくある程度の密度を維持するため、所望のプラズマ処理領域において、高密度かつ均一性の高いプラズマを発生させることができる。

【0020】このようにマイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段としては、たとえば請求項10に記載のように、マイクロ波伝達手段が、マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配して複数の前記マイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有し、該マイクロ波分配手段が、複数のマイクロ波放射手段のうちのマイクロ波が給電されるマイクロ波放射手段を切り換えるスイッチング手段を含む構成を適用することができる。また、マイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段の他の例として、請求項11に記載のように、マイクロ波放射手段が、前記マイクロ波導入手段の一端近傍において開口する複数のスリットと、該複数のスリットを選択的に遮蔽することにより、前記複数のスリットのうちのマイクロ波を放射するスリットを切換えるシャッターとを含む構成を適用することも可能である。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【0022】(実施の形態1)まず、この発明の実施の形態1を、図1～図3に基づいて説明する。このプラズマ発生装置は、図1および図2に示すように、真空容器

1、マイクロ波発振器2、駆動電源3および導波管5を備えている。さらに、真空容器1は、この真空容器1内部に放電ガスを供給するためのガス供給口1aと、真空容器1内を真空排気するためのガス排気口1bとを有している。また、この真空容器1の内部下側には、処理するための基板7が載置されている。また、この真空容器1内部上側には、4本のロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dとそのロッドアンテナ9a, b, c, dの各々の一端が挿入されている4本の誘電体管10a, 10b, 10c, 10dとが設けられている。そして、この誘電体管10a, 10b, 10c, 10dは、導波管5に接続されている。また、この導波管5は、マイクロ波発振器2に接続されている。さらに、マイクロ波発振器2は、駆動電源3に接続されている。

【0023】また、永久磁石11が、真空容器1の周囲に設置されている。永久磁石11は、マイクロ波の周波数と電子のサイクロトロン周波数が一致する磁界領域で、たとえば周波数2.45GHzのマイクロ波に対しても、磁界強度が約875Gになるところであるサイクロトロン共鳴領域12を発生させる。また、永久磁石11は、永久磁石の複数のN極とS極との間に発生する磁界である、いわゆるマルチカスプ磁界13を発生させる。そして、磁界の分布は、永久磁石11の等磁界強度線14のようになる。また、マイクロ波を真空容器1内に導入する上記ロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dおよび誘電体管10a, 10b, 10c, 10dは、真空容器1の内部に設置されており、図3に示すように、このマイクロ波導入部での磁界強度は100G以内である。また、上記構成において上記真空容器1内にプラズマ8が生成される。

【0024】図2に示すように、分岐部20a, 分岐部20b, 分岐部20cを有するT分岐が導波管5に接続されており、導波管5からロッドアンテナ9a, b, c, dへのマイクロ波の分配は、まず、導波管5に接続された分岐部20aにマイクロ波が導波される。次に、マイクロ波は、分岐部20aから分岐部20bおよび分岐部20c側への2方向に分岐される。さらに、マイクロ波は、分岐部20aの分岐された側の両端から分岐部20bおよび分岐部20cへと分岐される。その後、マイクロ波は、分岐部20bおよび分岐部20cの各々の両端に結合されたロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dへと導波される。そして、マイクロ波は、ロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dから真空容器1内へと放射される。そして、誘電体管10a, 10b, 10c, 10dは、石英からなっており、大気と真空雰囲気とを隔てるとともに、マイクロ波を真空容器1内に導入するためのマイクロ波が通過可能である。

【0025】次に、上記のように構成される本実施の形態におけるプラズマ発生装置の動作について説明する。

【0026】まず、従来構成と同様に排気口1bに接続

されているあらびきポンプおよびターボ分子ポンプ等の高真空ポンプ(図示せず)で真空容器1内を高真空中に排気し、ガス供給口1aを通じてアルゴン、水素、酸素、塩素、四フッ化炭素、シラン等の放電ガスを供給する。それにより、真空容器1内がこの放電ガスによって所定の圧力に達する。その後、駆動電源3の駆動によりマイクロ波発振器2がマイクロ波を発振させる。このマイクロ波は、導波管5に導波される。そして、マイクロ波は、導波管5を経て、分岐部20aおよび分岐部20b、分岐部20cにより、4方向に分配される。さらに、導波管5を導波するマイクロ波は、分岐部20bおよび分岐部20cにそれぞれ結合されたロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dによってマイクロ波立体回路から放射される。その後、放射されたマイクロ波は、真空容器1内に挿入された誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを通過して真空容器1内に導入される。このとき、永久磁石11が発生させた電子サイクロトロン共鳴領域12の近傍で、マイクロ波の周波数と電子サイクロトロン周波数とが一致し、マイクロ波の振動電界により共鳴的に電子が加速される電子サイクロトロン共鳴現象が起こる。それにより、 10^{-4} Torr台の低ガス圧下でも容易に電子サイクロトロン共鳴放電が起り、プラズマ8が真空容器1内に発生する。

【0027】プラズマ8が発生した後は、導入するマイクロ波電力が小さく、プラズマ8中の電子密度が、マイクロ波をプラズマ8中に導入できるか否かの境界となる、いわゆるマイクロ波のカットオフ密度(周波数2.45GHzのマイクロ波の場合には約 $7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$)よりも低い場合には、誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを介して真空容器1内へ導入されたマイクロ波は、プラズマ8中を伝播し、電子サイクロトロン共鳴領域12にまで到達することができる。そのため、電子サイクロトロン共鳴によりエネルギーを得た共鳴電子は、原子あるいは分子上の中性ガス粒子を励起、解離、電離させ、プラズマ8の生成を維持する。

【0028】また、導入するマイクロ波電力が大きく、プラズマ8中の電子密度がカットオフ密度よりも高い場合には、誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを介して真空容器1内へ導入されたマイクロ波は、プラズマ8中を伝播することができず、上記誘電体管10a, 10b, 10c, 10dとプラズマ8との境界に沿ってのみ伝播する表面波として存在することができる。この励起された表面波は、プラズマ8中の電子密度がカットオフ密度を超える高密度なプラズマの場合でも、反射されることなく上記境界に沿って伝播し、伝播中にプラズマ8にそのエネルギーが吸収される。そのため、誘電体管10a, 10b, 10c, 10dの表面近傍のプラズマ8中の電子は、この表面波の振動電界により加速を受け、高エネルギー状態になって、原子あるいは分子上の中性ガス粒子を励起、解離、電離させ、プラズマ8の生

成を維持する。

【0029】また、真空容器1の周囲に取付けられた永久磁石11は、図3に示すように、真空容器1の壁面近傍にマルチカスプ磁界13を形成している。マルチカスプ磁界13は、いわゆる磁気ミラー効果を起こし、プラズマ8中の電子やイオン真空容器1内に閉じ込める作用をする。特に、このマルチカスプ磁界13は、真空容器1の中心部の低磁界領域で発生した電子やイオンには、磁気ミラー比を大きくすることができ、磁気閉じ込め効果が著しく強く作用する。よって、このマルチカスプ磁界13の効果により、真空容器1の壁表面での再結合過程によるプラズマ8の損失を抑えて、発生したプラズマ8の維持を容易に行なうことができる。

【0030】また、真空容器1内にマイクロ波を導入するためのロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dおよび誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを低磁界領域に設置しているため、上記誘電体管10a, 10b, 10c, 10dとプラズマ8との境界に励起、伝播する表面波の電力により発生した電子やイオンに対して、磁気ミラー比を大きくすることができ、これら荷電粒子の磁気閉じ込め効果が著しく強く作用する。

【0031】つまり、このような低磁界領域での表面波励起によるプラズマ8の発生とマルチカスプ磁界13によるプラズマ閉じ込めとの組合せにより、 10^{-4} Torr台の低ガス圧力下でも、効率よくカットオフ密度を超える高密度なプラズマ8の生成を行なうことができる。また、本実施の形態では、図22に示すように、従来1箇所から真空容器101内へマイクロ波電力を導入するために設けられていたロッドアンテナ109および誘電体管110に対し、4箇所からロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dおよび誘電体管10a, 10b, 10c, 10dを真空容器1内の低磁場領域に導入している。そのため、マイクロ波は1箇所のときよりも全体に分散された4箇所の誘電体管10a, 10b, 10c, 10dから真空容器1内に供給される。それにより、高さ方向および直径方向にマイクロ波が分散され均一に供給される。そのため、プラズマ8の直径方向の拡散による再結合によるプラズマ密度の均一性は改善される。その結果、本実施の形態では、上記真空容器1内に設けられた基板7に対しても、均一性のよい処理が可能となる。基板7の上に半導体装置が設けられて、たとえばプラズマCVD法による膜形成処理を行なうと、均一なプラズマ分布での処理することが可能となる。それにより、歩留りの改善が期待できる。

【0032】なお、本実施の形態では、誘電体材料として石英を用いたが、他にバイレックスガラス、テフロン等の高分子材料、および、セラミックスからなる群より選ばれた1または2以上の材料等に置き換えても均一なプラズマの発生は可能である。

【0033】また、本実施の形態では、ロッドアンテナ

9a, 9b, 9c, 9dを用いてマイクロ波立体回路からのマイクロ波の放射を行なっているが、図4に示すようなスピライルアンテナ、図5に示すようなヘリカルアンテナ、図6に示すようなリジターノコイル、ループアンテナ(図示せず)等のマイクロ波を放射することができるアンテナ構造ならば、同様にプラズマの均一性が改善されるという効果が得られる。また、上記各アンテナ構造を適宜に組合せても、同様にプラズマの均一性が改善されるという効果が得られる。

10 【0034】また、本実施の形態では、マイクロ波を導入するロッドアンテナ9a, 9b, 9c, 9dおよび誘電体管10a, 10b, 10c, 10dの数を4箇所として例記しているが、必ずしも4箇所である必要はない、少なくとも1箇所より多く導入すれば、同様にプラズマの均一性が改善されるという効果が得られる。

【0035】また、本実施の形態では、誘電体管を用いたが、図7に示すように、誘電体にアンテナ9a, 9b, 9c, 9dを埋め込む誘電体棒10a, 10b, 10c, 10dを使用してもよい。また、マイクロ波放射手段としてアンテナ9a, 9b, 9c, 9dを用いず、図8および図9に示すように、スリットの下に誘電体管または誘電体棒10a, 10b, 10c, 10dを設け導波管と接続しても、同様にプラズマ8の均一性が改善されるという効果が得られる。

20 【0036】また、本実施の形態では、マルチカスプ磁界13として、永久磁石11を用いて、図3に示すような、ラインカスプ磁界を発生させているが、リングカスプ磁界や複合カスプ磁界等のように、真空容器1の壁面近傍に強力な磁界領域を形成し、かつ、マイクロ波を導入する真空容器1の中心部で低磁界領域を形成するような磁界強度分布ならば同様の作用効果の実現が可能となる。

30 【0037】また、本実施の形態では、マイクロ波発振器2から電力を供給する手段として、導波管5および分岐部20a, 分岐部20b, 分岐部20cを設けているが、それに代えて同軸ケーブルあるいはコルゲート管を用いても同様の作用効果の実現が可能となる。

【0038】さらに、導波管と同軸ケーブルおよびコルゲート管を適宜組合せることによっても同様の作用効果を得る構成を実現することが可能となる。

【0039】(実施の形態2) 次に、この発明の実施の形態2を、図10～図13に基づいて説明する。

【0040】このプラズマ発生装置は、図10に示すように、真空容器1、マイクロ波発振器2、駆動電源3および導波管5を備えている。さらに真空容器1は、この真空容器1内部に、放電ガスを供給するためのガス供給口1aと放電ガスを排気するためのガス排気口1bとを有している。また、この真空容器1の内部下側には、処理するための基板7が載置されている。また、この真空容器1内部上側には、1本のロッドアンテナ9とそのロ

ッドアンテナ9の一端が挿入されている誘電体管10とを真空容器1内で回転可能とする駆動装置25が設けられている。そして、この誘電体管10の上端は導波管5の一端側に接続され、導波管5の他端は、駆動電源3から電力が供給されるマイクロ波発振器2に接続されている。

【0041】真空容器1の周囲には永久磁石11が設置されており、永久磁石11は、マイクロ波の周波数と電子のサイクロトロン周波数が一致する磁界領域で、たとえば周波数2.45GHzのマイクロ波に対しては、磁界強度が約875Gになるところであるサイクロトロン共鳴領域12を発生させる。また、永久磁石11は、マルチカスプ磁界13を発生させる。そして、永久磁石11は、等磁界強度線14を発生させる。また、マイクロ波を真空容器1内に導入する上記ロッドアンテナ9および誘電体管10は、真空容器1の内部に設置されており、図3に示すように、このマイクロ波導入部での磁界強度は100G以内である。また、上記構成において上記真空容器1内にプラズマ8が生成される。ロッドアンテナ9は、マイクロ波立体回路からマイクロ波を放射させる。誘電体管10は、石英からなっており、大気と真空雰囲気とを隔てるとともに、真空容器1内に導入するためのマイクロ波が通過可能である。

【0042】また、本実施の形態におけるプラズマ発生装置の動作は、マイクロ波がロッドアンテナ9および誘電体管10に導波されるまでは、上記実施の形態1のプラズマ発生装置とほぼ同様であるので省略する。さらに、ロッドアンテナ9および誘電体管10にマイクロ波が導波された後は、実施の形態1と同様に誘電体管10から真空容器1内にマイクロ波が導入されるが、この時、図10および図11に示すように、誘電体管10は駆動装置25により真空容器1内を回転している。そのため、マイクロ波の導入箇所が真空容器1内を回転することとなり、プラズマの発生箇所もそれに伴って回転することとなる。それにより、従来のプラズマ発生装置は、図22に示すような固定された1箇所から真空容器101内へマイクロ波電力を導入するために設けられていたロッドアンテナ109および誘電体管110に対し、本実施の形態では、回転可能な1本のロッドアンテナ9および誘電体管10を真空容器1内の低磁場領域に導入している。そのため、マイクロ波の発生箇所が時系列的に移動する。それにより、高さ方向に加えて直径方向にもマイクロ波が時間分割制御されて均一に供給される。そのため、プラズマ8の直径方向の拡散時における再結合によるプラズマ密度の均一性は改善される。その結果、本実施の形態では、真空容器1内のプラズマ8の均一性が改善されるため、上記真空容器1内に設けられた基板7に対しても、均一性のよい処理が可能となる。基板7の上に半導体装置が設けられて、たとえばプラズマCVD法による膜形成処理を行なうと、均一なプラズ

マ分布で処理することが可能となる。それにより、歩留りの改善が期待できる。

【0043】(実施の形態3)以下、本発明の実施の形態3を図12～図20に基づいて説明する。

【0044】本実施の形態におけるプラズマ発生装置のマイクロ波給電の制御装置は、図12に示すように、分岐器30を有しており、この分岐器30は導波管5に接続され、かつ、マイクロ波電力を分配する手段を有する。分岐器30は、導波管5e, 5fに接続され、ロッドアンテナ9e, 9fへマイクロ波電力を供給する。ロッドアンテナ9e, 9fは、上記導波管5e, 5fに接続され、マイクロ波立体回路からマイクロ波電力を放射する。ロッドアンテナ9e, 9fから放射されたマイクロ波電力は、誘電体管10e, 10fを透過する。この誘電体管10e, 10fは、石英からなり、大気と真空雰囲気を隔てるとともに、マイクロ波を真空容器1内に導入するためのマイクロ波が通過可能である。

【0045】図13および図14は、本実施の形態のマイクロ波給電方法に示されている分岐器30を模式的に示している。分岐器30の内部には、切換スイッチ35および切換スイッチ36が設けられており、この切換スイッチ35および切換スイッチ36はマイクロ波の給電をON/OFFするための切換手段である。また、分配器30に接続して制御コントローラ31が設けられており、図15に示すようなスイッチング動作の波形で、分配器30内に設けられた切換スイッチ35および切換スイッチ36のON/OFFを制御する。図16および図17は、図13および図14における分岐器30の動作と発生するプラズマの関係を示している。

【0046】次に、上記のように構成される本実施の形態におけるプラズマ発生装置の動作について説明する。プラズマを発生および維持する方法については、上記実施の形態1と同様なので説明を省略し、ここでは、真空容器1へのマイクロ波給電方法について説明する。

【0047】マイクロ波発振器2から導波管5を介してマイクロ波電力は、分岐器30に入力する。分岐器30に入力されたマイクロ波電力は、分岐器30内の切換スイッチ35および切換スイッチ36を、制御コントローラ31によりONすることにより、マイクロ波電力を2系統に分配する。2系統に分配されたマイクロ波電力は分岐器30に接続された各々の導波管5e, 5fを介して、導波管5e, 5fに接続されたロッドアンテナ9e, 9fを介して真空容器1内に導入され、図18に示したようなプラズマを発生させる。

【0048】本実施の形態では、分岐器30を2系統に分配した図を示しているが、3系統や4系統の任意の数の分配器を用いれば、分配する系統数を適宜変更することが可能である。

【0049】また、本実施の形態では、マイクロ波発振器2から電力を供給する手段として、導波管5, 5e,

5 f を用いているが、同軸ケーブルあるいはコルゲート管を用いてもマイクロ波を分配することができる。さらに、導波管 5 と同軸ケーブルおよびコルゲート管を適宜組合せてもマイクロ波を分配することができる。

【0050】また、本実施の形態では、分岐器 30 から導波管 5 e, 5 f へのマイクロ波電力を同時に分配して供給しているが、図 15 に示しているようなスイッチング動作の波形で、図 16～図 18 に示しているように、制御コントローラ 31 により分岐器 30 内の切換スイッチ 35 および切換スイッチ 36 を適宜制御することにより、マイクロ波電力の発振箇所を適宜切換えることができる。さらに図 13 および図 14 に示すように、切換スイッチ 35 および切換スイッチ 36 を交互に切換えることにより、図 16 および図 17 に示すように、真空容器 1 内に発生するプラズマ 8 はロッドアンテナ 9 e, 9 f の周辺に交互に発生する。そのため、瞬時においては均一ではないが、一定の単位時間内においては、均一なプラズマ 8 が形成される。また、2 本のロッドアンテナ 9 e, 9 f を同時に放電させたときよりも 1 本当たりの電力を大きくできる。その結果、電源の電力が同じならば各アンテナを時間分割して相互に放電させた方が、1 の誘電体管当たりのマイクロ波の導入エネルギーを大きくすることができる。それにより、2 本同時に弱いエネルギーのマイクロ波を導入させたときよりも、時間分割して相互に強いマイクロ波のエネルギーを 1 個所で発生させた方が高密度なプラズマを発生させることができる。

【0051】また、本実施の形態では、分岐器 30 の内部に切換スイッチ 35 および切換スイッチ 36 としてリレータイプの有接点方式を示したが、スタブタイプ等の無接点方式を用いても、時間分割して高密度なプラズマを発生させることができる。また、本実施の形態では、1 つのマイクロ波発振器 2 を分岐器 30 を用いて分配して供給したが、真空容器に接続されている複数の導波管の各々に対し、マイクロ波発振器と導波管と接続してもよい。

【0052】なお、本実施の形態では、T 分岐とアンテナとを用いてマイクロ波を分配したが、複数のスリットとそれに対応する誘電体部材を固定し、時間分割して、シャッターによりスリットを順次開口させるように制御して、マイクロ波を分配することによっても、高密度なプラズマを発生させることができる。このような変形例として、たとえば、図 19 および図 20 に示すように、各々の誘電体管 10 a, 10 b, 10 c, 10 d の上部にスリット 6 a, 6 b, 6 c, 6 d を設け、真空容器 1 の上面においてスリット 6 a, 6 b, 6 c, 6 d のうちの一つのみを開口させて他を遮蔽するシャッタ 26 を配し、このシャッタ 26 を図 20 に示す矢印 A 方向に回転させて、スリット 6 a, 6 b, 6 c, 6 d を順次開口させるような構造を用いることができる。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の請求項 1 に記載のプラズマ発生装置によれば、プラズマ処理領域上の複数の位置に対してマイクロ波が導入され、それらの複数の位置においてプラズマを発生させるため、上記従来の技術の場合のように 1 か所のみに対してマイクロ波を放射させることに比べて、プラズマ処理領域に沿う方向により均一な密度分布を有するプラズマを発生させることができる。その結果、プラズマ処理領域内のプラズマ処理の均一性が向上し、プラズマ処理の対象としての基板の大口径化に対応できるプラズマ発生装置を提供することができる。

【0054】請求項 2 に記載の発明によれば、マイクロ波導入手段として、たとえば管状または棒状の誘電体部材を複数個並列に配列するとともに、それらの各々の端部を真空容器の内部に挿入することによって構成することにより、管状あるいは棒状の誘電体部材を複数個並列に配置して真空容器内に挿入し、マイクロ波発生手段からのマイクロ波パワーを分散して真空容器に導入することになるため、各々の誘電体部材にかかる負荷が低減される。

【0055】請求項 3 に記載の発明のようなアンテナを用いてその端部が真空容器内に奥深く挿入することにより、マイクロ波の放射位置を、所望のプラズマ処理領域の近くに配することができ、そのプラズマ処理領域でのプラズマ密度を高め易いという利点がある。マイクロ波放射手段として、アンテナの代わりに、請求項 4 に記載のように複数のスリットを設ける場合にも、一つのスリットを有する従来のプラズマ発生装置に比べて、プラズマ処理領域におけるプラズマ密度分布の均一性を向上させる点において同様の利点を有している。

【0056】請求項 5 に記載の発明のように、マイクロ波放射手段の真空容器内にマイクロ波を放射する部分を真空容器内において移動させる駆動手段をさらに備えることにより、単一の部材で構成されたアンテナなどのマイクロ波放射手段を用いて、所望のプラズマ処理領域に沿う方向に並ぶ複数の位置においてマイクロ波を放射させることができ、より簡単な構成のマイクロ波放射手段によって、プラズマ処理領域におけるプラズマ密度分布の均一性の向上を図ることができる。

【0057】請求項 6 に記載の発明のように、真空容器の内部に磁界を発生させる磁界発生手段をさらに備えることにより、真空容器内部の無い壁面近傍壁でマルチカスプ磁界が発生し、磁気ミラー効果により、プラズマはサイクロトロン現象を起こす。そのため、プラズマは真空容器の内壁に衝突することなく存在する。それにより、発生したプラズマは、その状態を維持しやすくなる。そのため、所望のプラズマ処理領域におけるプラズマ処理の均一性がさらに向上し、プラズマ処理の対象としての基板の大口径化への対応の可能性も拡大する。誘電体部材として、請求項 7 に記載の種々の誘電体材料を

用いることができ、これらの材料のいずれを適用することによっても、上述の各作用効果を良好に実現することができる。

【0058】本発明のプラズマ発生装置においては、たとえば請求項8に記載のように、マイクロ波伝達手段が、マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配して複数のマイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有することにより、複数の位置へのマイクロ波の放射を実現することができる。

【0059】本発明のプラズマ発生装置の他の好ましい実施例においては、請求項9に記載のような切換手段を含むことにより、マイクロ波放射手段がマイクロ波を放射する複数の位置に対して時間分割して順次マイクロ波を放射することを可能にする。このようにマイクロ波を放射することにより、分割されたある時間においては、1つの電源により発生する限られた電力のマイクロ波を1つの位置に集中的に放射することになり、その結果、その位置に発生するプラズマ密度を高くすることができる。この場合、分割された各時間ごとにみれば、各位置において新たに発生するプラズマ密度に差が生じるが、一旦発生したプラズマはマイクロ波の放射が途切れた間においても直ぐには減衰することなくある程度の密度を維持するため、所望のプラズマ処理領域において、高密度かつ均一性の高いプラズマを発生させることができる。

【0060】このようにマイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段としては、たとえば請求項10に記載のように、マイクロ波伝達手段が、マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波を分配して複数の前記マイクロ波放射手段に給電するマイクロ波分配手段を有し、該マイクロ波分配手段が、複数のマイクロ波放射手段のうちのマイクロ波が給電されるマイクロ波放射手段を切り換えるスイッチング手段を含む構成を適用することができる。また、マイクロ波を放射する位置を順次選択的に切換える手段の他の例として、請求項11に記載のように、マイクロ波放射手段が、前記マイクロ波導入手段の一端近傍において開口する複数のスリットと、該複数のスリットを選択的に遮蔽することにより、前記複数のスリットのうちのマイクロ波を放射するスリットを切換えるシャッターとを含む構成を適用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置の概略構成を示す図である。

【図2】 図1に示したプラズマ発生装置の真空容器近傍の平面図である。

【図3】 本発明の実施の形態1における永久磁石の配置および発生する磁界強度分布を示す図である。

【図4】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置のアンテナの位置変形例を示す図である。

【図5】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置のアンテナの他の変形例を示す図である。

【図6】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置のアンテナのさらに他の変形例を示す図である。

【図7】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置の一変形例の概略構成を示す図である。

【図8】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置の他の変形例の概略構成を示す図である。

【図9】 本発明の実施の形態1におけるプラズマ発生装置のさらに他の変形例の概略構成を示す図である。

【図10】 本発明の実施の形態2におけるプラズマ発生装置の概略構成を示す図である。

【図11】 図10に示したプラズマ発生装置の、真空容器近傍の平面図である。

【図12】 本発明の実施の形態3におけるプラズマ発生装置の全体の概略構成を示す平面図である。

【図13】 本発明の実施の形態3における分配器30の、切換スイッチ35がON、切換スイッチ36がOFFの状態を示す模式図である。

【図14】 本発明の実施の形態3における分配器30の、切換スイッチ35がOFF、切換スイッチ36がONの状態を示す模式図である。

【図15】 本発明の実施の形態3における分配器30の、切換スイッチ35、36を制御するためのパルスを示す図である。

【図16】 本発明の実施の形態3における分配器30の切換スイッチ35がON、切換スイッチ36がOFFの状態での、プラズマの発生状態を示す図である。

【図17】 本発明の実施の形態3における分配器30の切換スイッチ35がON、切換スイッチ36がOFFの状態での、プラズマの発生状態を示す図である。

【図18】 本発明の実施の形態3における分配器の切換スイッチ35、36がともにONの状態でのプラズマの発生状態を示す図である。

【図19】 本発明の実施の形態3におけるプラズマ発生装置の一変形例の概略構成を示す図である。

【図20】 図10に示したプラズマ発生装置の、真空容器近傍の平面図である。

【図21】 従来のプラズマ発生装置の概略構成を示す図である。

【図22】 特願平9-262047号において本発明者らが提案したプラズマ発生装置の概略構成を示す図である。

【図23】 図21に示したプラズマ発生装置の真空容器の、真空容器近傍の平面図である。

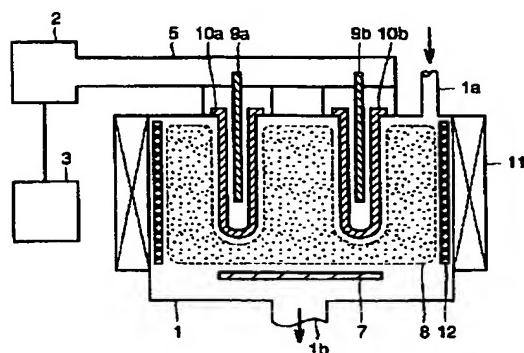
【図24】 図21に示したプラズマ発生装置における永久磁石の配置および発生する磁界強度分布を示す図である。

【符号の説明】

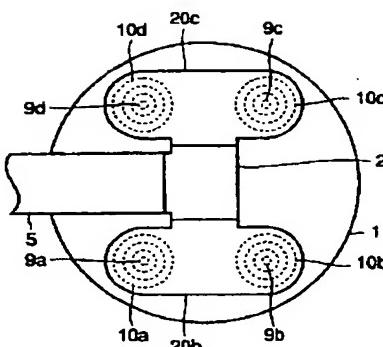
2 マイクロ波発振器、3 駆動電源、5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f 導波管、7 基板、8 プラズマ、9, 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f ロッドアンテナ、10a, 10b, 10c, 10d, 1

0e, 10, 10f 誘電体管、11 永久磁石、12 電子サイクロトロン共鳴領域、13 マルチカスプ磁界、14 等磁界強度線、20a, 20b, 20c T分岐、25 駆動装置。

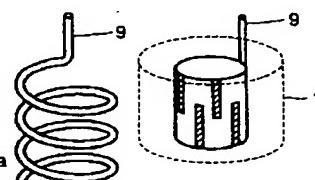
【図1】



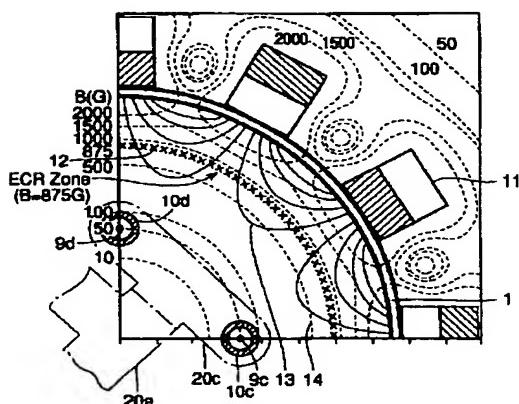
【図2】



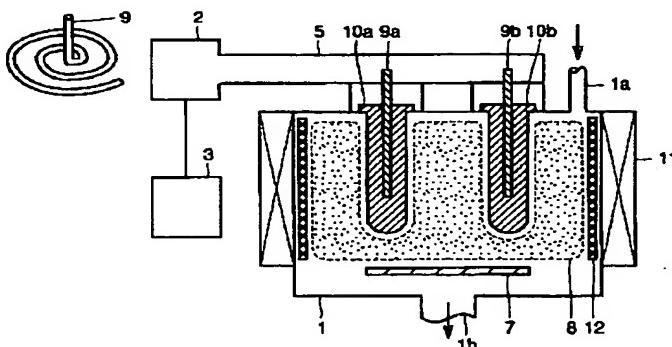
【図4】



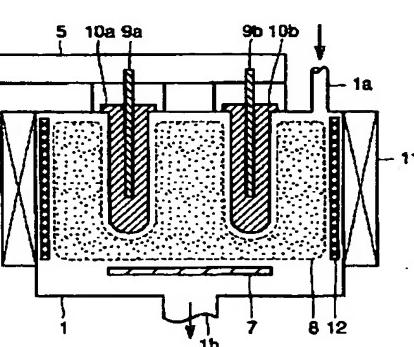
【図3】



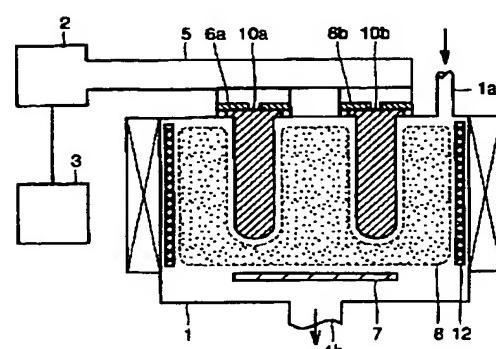
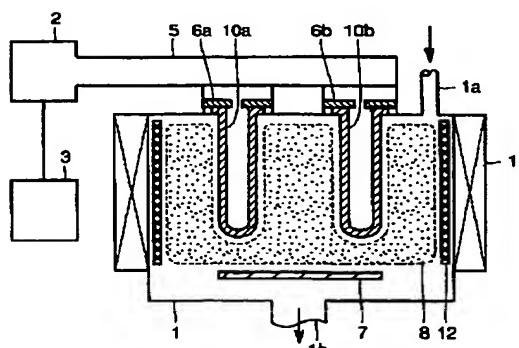
【図5】



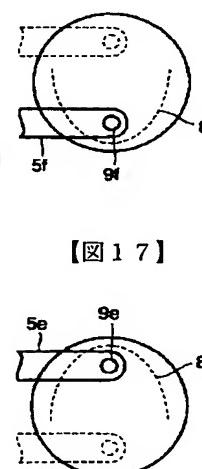
【図7】



【図8】



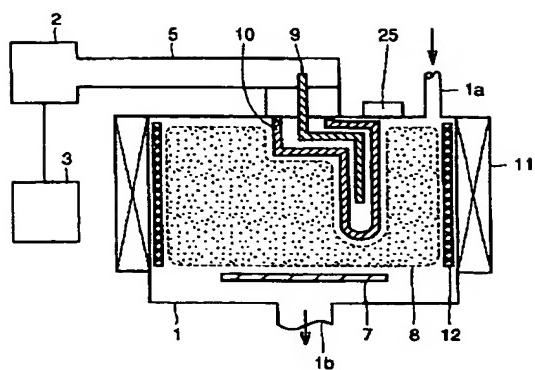
【図16】



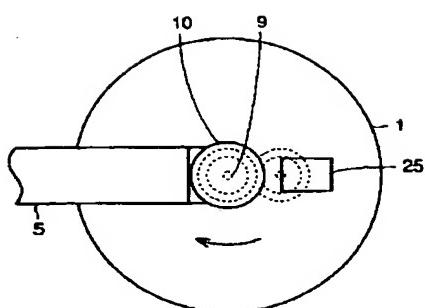
【図15】



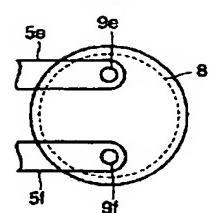
【図10】



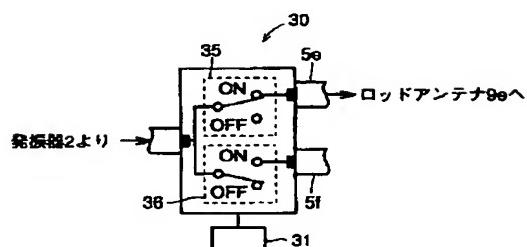
【図11】



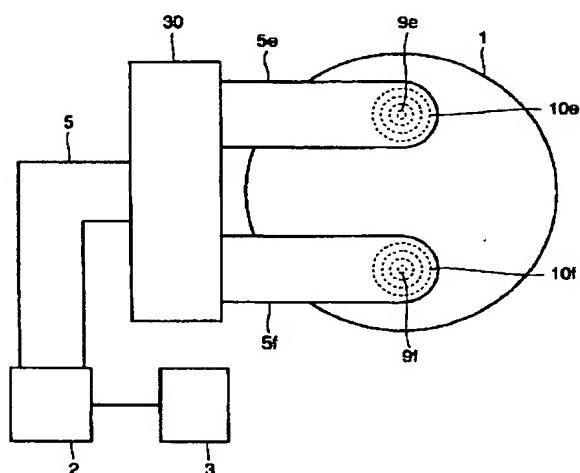
【図18】



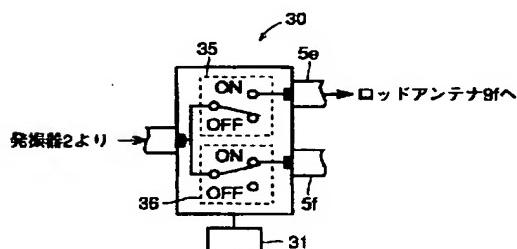
【図13】



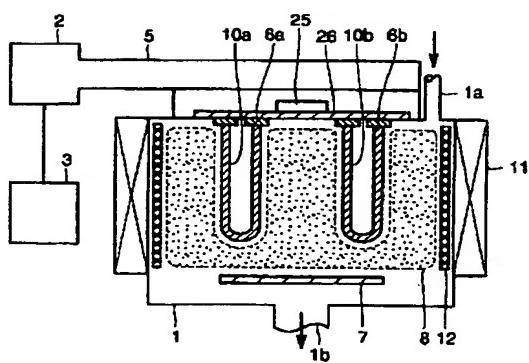
【図12】



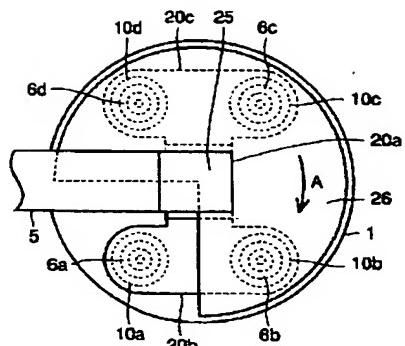
【図14】



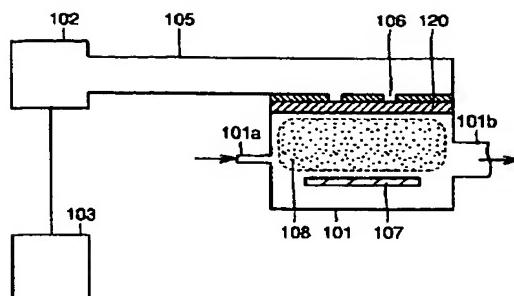
【図19】



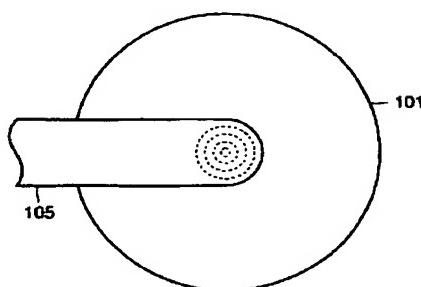
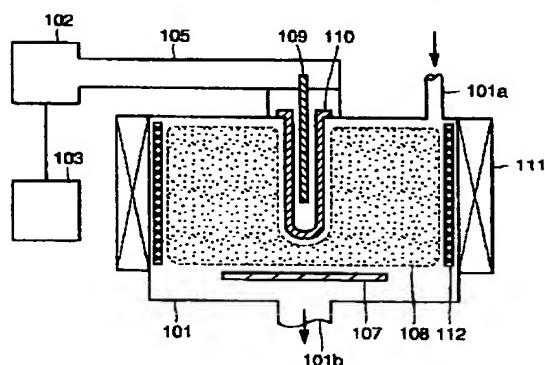
【図20】



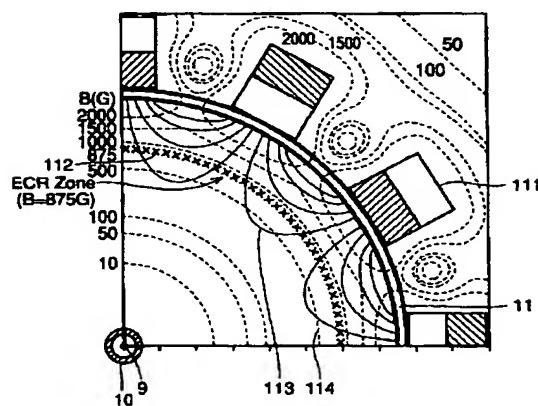
【図21】



【図22】



【図24】



フロントページの続き

(51) Int.CI.⁶
// H 0 1 L 21/31

識別記号

F I
H 0 1 L 21/302

B

(72) 発明者 米村 俊雄
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 津田 瞳
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 斧 高一
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 奥 康二
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 中隈 信治
東京都千代田区大手町二丁目6番2号 三
菱電機エンジニアリング株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.